

- вания основных параметров внимания и памяти // Медицинская техника. 2010. № 1. С. 32-35.
10. Корневский Н.А., Шуткин А.Н., Горбатенко С.А., Серебровский В.И. Оценка и управление состояния здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий / Монография. – Старый Оскол: ТНТ, 2016. 472 с.
 11. Плотников В.В., Корневский Н.А., Забродин Ю.М. Автоматизация методик психологического исследования: принципы и рекомендации. – Орел: Институт психологии АНССР; ВНИИОТ Госагропрома ССР, 1989. 327 с.
 12. Корневский Н.А., Крупчатников Р.А. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений для врачей-рефлексотерапевтов / Монография. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. 424 с.
 13. Корневский Н.А., Крупчатников Р.А., Аль-Касабех Р.Т. Теоретические основы биофизики акупунктуры с приложениями в медицине, психологии и экологии на основе нечетких сетевых моделей / Монография. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. 528 с.
 14. Корневский Н.А., Родионова С.Н., Хрипина И.И. Методология синтеза гибридных нечетких решающих правил для медицинских интеллектуальных систем поддержки принятия решений / Монография. – Старый Оскол: ТНТ, 2019. 472 с.
 15. Корневский Н.А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. 2015. № 1 (289). С. 33-35.
- Николай Алексеевич Корневский,
д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой,
Софья Николаевна Родионова,
аспирант,
кафедра биомедицинской инженерии,
ФГБОУ ВО «Юго-Западный
государственный университет»,
г. Курск,
Николай Львович Коржук,
канд. техн. наук, профессор,
кафедра приборов и биотехнических систем,
ФГБОУ ВО «Тульский
государственный университет»,
г. Тула,
Виталий Вячеславович Аксенов,
зав. лабораториями,
кафедра биомедицинской инженерии,
ФГБОУ ВО «Юго-Западный
государственный университет»,
г. Курск,
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

С.А. Филист, Р.И. Сафронов, Л.В. Шульга, Г.В. Сипливый,
Е.В. Крикунова, Н.А. Милостная

Экспертная система контроля состояния пациентов, контактирующих с промышленными ядохимикатами

Аннотация

Рассмотрена актуальная проблема повышения качества оказания медицинской помощи работникам промышленных предприятий и агропромышленного комплекса, подвергающихся действию вредных химических веществ в сочетании с другими существенными факторами риска, путем использования экспертной системы с проблемно-ориентированной гибридной нечеткой базой знаний.

Введение

Значительная часть современных производств характеризуется наличием вредных производственных ядохимикатов в воздухе рабочей зоны. Например, в гальванических цехах производственные условия отличаются повышенной влажностью, значительной концентрацией вредных паров и газов, дисперсных туманов и брызг электролитов, которые порождают такие профессиональные заболевания, как астма, аллергия, язва внутренних органов, слепота, утрата обоняния. В агропромышленном комплексе многие удобрения содержат ядохимикаты, вредно влияющие на состояние дыхательной, нервной и сердечно-сосудистой систем, а также желудочно-кишечного тракта [1]-[4].

Анализ работ, посвященных профессиональным заболеваниям работников, находящихся в зоне действия промышленных ядохимикатов, показывает, что они в основном ориентированы на анализ статистики заболеваемости. Ряд работ посвящен оценке риска появления профессиональных заболеваний без учета индивидуальных особенностей организма и сопутствующих экзогенных и эндогенных факторов риска. Такой подход значительно снижает потенциально достижимые возможности по оказанию качественной медицинской помощи исследуемой категории пациентов.

Опыт решения аналогичных задач на кафедре биомедицинской инженерии Юго-Западного государственного университета показывает, что для повышения качества ведения пациентов, связанных с промышленными ядохимикатами, целесообразно использовать экспертные системы с проблемно-ориентированной гибридной нечеткой базой знаний,

использующей математические модели, получаемые на основе методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил (МСГНРП) [5], [6].

Используемые методы и модели

При синтезе моделей выбранного типа, кроме специфических для технологии производственных процессов факторов риска, рекомендуется учитывать эргономические, экологические и индивидуальные факторы риска [2]-[4].

С учетом специфики труда на предприятиях, использующих ядохимикаты, предлагается модификация МСГНРП, состоящая из следующей последовательности действий.

1. Подготовленная к использованию методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил экспертная группа, учитывая специфику производственных процессов, исследует в рабочей зоне состав химических веществ, воздействующих на работников, и определяет органы и системы, подверженные риску появления и развития профессиональных заболеваний.

2. При наличии репрезентативных выборок и средств оценки резистентных концентраций и с учетом времени воздействия для каждого вредного химического вещества h_i с использованием нечеткой модификации МГУА, описанной в работах [5], [7], синтезируются математические модели вида

$$z_{li} = f_{li} \left(\frac{c_i}{c_{pi}} \right) \cdot f_{li}^* \left(\frac{t_i}{t_{pi}} \right), \quad (1)$$

где c_{pi} – резистентная концентрация химического вещества (ХВ) h_i , ниже которой обеспечивается безопасность функционирования органа по заболеванию ω_i ; t_{pi} – резистентное время, мень-

ше которого орган «не успевает» перейти в патологию ω_i ; $f_{li}(\cdot)$ – нормировочная функция степени влияния ХВ с концентрацией c_i на появление и развитие заболеваний ω_i с областью определения $[0, \dots, 1]$; $f_{li}^*(\cdot)$ – нормировочная функция степени влияния времени воздействия ХВ h_i на появления и развития патологии ω_i с той же областью определения, что и у $f_{li}(\cdot)$; d – идентификатор решаемой задачи ($d = n$ – прогноз; $d = p$ – ранняя стадия; $d = d$ – дифференциальный диагноз).

Используя параметр z_{li} как базовую переменную, с учетом рекомендаций [6], [8] определяются функции принадлежности $\mu_i^d(z_{li})$, являющиеся частными решающими правилами для класса ω_i по задаче d .

Уверенность UHR_i^n в прогнозе появления профессиональных заболеваний из-за факторов риска вредных химических веществ, находящихся в рабочих зонах, подверженных воздействию ядохимикатов, определяется нечеткой функцией

$$UHR_i^n = Ag_i^n[\mu_i^n z_{li}], \quad (2)$$

где Ag_i^n – агрегатор прогностических функций принадлежности для класса ω_i ; $i = 1, 2, \dots$.

Для ранней стадии профпатологии ω_i

$$UHR_i^p = Ag_i^p[\mu_i^p z_{li}], \quad (3)$$

где Ag_i^p – агрегатор диагностических функций принадлежности для класса ω_i .

Выбор формы и параметров функции принадлежности и способов их агрегации осуществляется в соответствии с рекомендациями МСГНПП [5], [6].

3. При отсутствии возможности оценки резистентных параметров, но при наличии возможности определения средневзвешенных концентраций в рабочих зонах с использованием нечеткой модификации МГУА синтезируются математические модели вида

$$z_{li} = f_{li} \left(\frac{c_i}{c_{Pi}} \right) \cdot f_{li}^*(t_i), \quad (4)$$

где c_{Pi} – предельно допустимая концентрация ХВ h_i ; c_i – средняя концентрация за период наблюдения; t_i – время нахождения человека в контакте с ХВ h_i .

Эксперты определяют меры доверия к синтезируемым решающим правилам, после чего, используя общие рекомендации по синтезу гибридных нечетких решающих правил с использованием нечетких МГУА, синтезируются модифицированные правила принятия решений вида

$$UHR_i^n = Ag_i^n[\mu_i^n(z_{li}, DIP)]; \quad (5)$$

$$UHR_i^p = Ag_i^p[\mu_i^p(z_{li}, DP)], \quad (6)$$

где DIP – мера доверия к прогностическому правилу; DP – мера доверия к правилу ранней диагностики.

4. При недостаточных объемах обучающих выборок, используя собственный опыт и данные литературных источников, эксперты при помощи метода Дэлфи принимают решение о своей готовности синтезировать нормировочные функции для выражения (4) и функции принадлежности для выражений (5) и (6). При синтезе элементов решающих правил эксперты руководствуются рекомендациями работ [2]-[4] с учетом того, что влияние концентрации вещества h_i на появления и развитие патологии ω_i определяется нормирующей функцией $f_{li}(c_i / c_{Pi})$, время контакта с веществом h_i – функцией $f_{li}^*(t_i)$, а степень влияния вещества h_i на ω_i – формой и параметрами функции принадлежности $\mu_i^n(z_{li})$ и $\mu_i^p(z_{li})$.

5. В условиях недостаточной информации для построения графиков и аналитических выражений для моделей (4)-(6) строятся нечеткие решающие таблицы по профзаболеваниям ω_i (одна таблица – одно заболевание), по строкам которых выписываются все существенные факторы риска в виде вредных химических веществ h_i . Столбцы таблицы разбиваются на два блока. Столбцы первого блока определяют интервал Δr отношений концентраций к ПДК ($\Delta r = c_{r-1} / c_{Pi} - c_r / c_{Pi}$). Столбцы

второго блока определяются интервалами времени Δt , в течение которых работники находятся под воздействием промышленных ядохимикатов. Величины Δr и Δt выбираются экспертами исходя из целей и условий решаемых задач. Удобно в качестве ориентира выбрать формулы оценки интервалов аналогично тому, как это делается при построении гистограмм распределения случайных величин. Элементами первого блока таблицы являются значения уверенности U_{iq} в том, что при определенной разности концентраций под воздействием фактора h_i появятся патологии ω_i (q – номер итерации Δr).

Элементами второго блока таблицы являются временные поправочные коэффициенты γ_{ip} , уточняющие уверенности U_{iq} в появлении и развитии заболевания ω_i в зависимости от времени воздействия факторов h_i (p – номер интервала Δt).

По каждой из строк уверенность в ω_i определяется выражением

$$US_{li} = U_{iq} \gamma_{ip}. \quad (7)$$

Общая уверенность в ω_i от совокупности воздействия на организм человека химических факторов риска определяется выражением

$$UHR_i^d = F_i[U_{iq} \gamma_{ip}], \quad (8)$$

где F_i – соответствующая функция агрегации; $d = n$.

Общие рекомендации по выбору величин уверенности U_{iq} поправочного коэффициента γ_{ip} и функции агрегации F_i приведены в работах [2]-[4]. В этих же работах приведены примеры их получения на типах задач, аналогичных решаемым в рассматриваемой работе.

6. При отсутствии информации, необходимой и достаточной для построения нечетких решающих таблиц, эксперты имеют возможность, используя готовые математические модели, пересчитать известные показатели в соответствующие величины уверенности U_{li} , определить степень доверия к этим уверенностям DI_i и путем их агрегации получить формулу для расчета UR_i :

$$UHR_i^d = F_i^*(U_{li} DI_i). \quad (9)$$

7. Для выбранного класса заболеваний определяются факторы риска (экология, эргономика, индивидуальные факторы), не связанные с выбранными химическими веществами, по которым в соответствии с рекомендациями [2]-[4] определяется частная уверенность UFR_i по исследуемому классу заболеваний ω_i .

8. В соответствии с общими рекомендациями по синтезу гибридных нечетких решающих правил частные математические модели агрегируются в финальные решающие правила вида

$$UF_i^d = Ag_i^d[UHR_i^d, EFR_i^d]. \quad (10)$$

Таким образом, предполагаемый метод позволяет учесть существенные особенности структуры данных, присущих условиям работы на исследуемом классе производств, обеспечивая синтез прогностических и диагностических решающих правил, «работающих» с приемлемой для практической медицины точностью.

Результаты

В качестве примера, используя описанный метод синтеза, рассмотрим синтез математических моделей прогнозирования и ранней диагностики пневмокониоза у рабочих гальванического цеха.

По пневмокониозам на экспертном уровне было принято решение в качестве производственных факторов риска появления и развития пневмокониозов выбрать фиброгенные пыль (концентрация C_1) и аэрозоль (концентрация C_2).

Уверенность в появлении и развитии пневмокониоза у рабочих гальванического цеха (класс ω_{II}) по факторам риска «химические вещества гальванических цехов» (модель 5) определяется выражением

$$UHR_{II}^n = \mu_{II}^n(Z_{m1}) + \mu_{II}^n(Z_{m2}) - \mu_{II}^n(Z_{m1}) \mu_{II}^n(Z_{m2}). \quad (11)$$

Для выражения (11) функции принадлежности к классу ω_{II} определялись экспертами по пункту 4 метода. Например, по фиброгенной пыли

$$\mu_{II}^n(Z_{II}) = \begin{cases} 0, & \text{если } Z_{II} < 0,1; \\ 3,26(Z_{II} - 0,1)^2, & \text{если } 0,1 \leq Z_{II} < 0,45; \\ 0,8 - 3,26(Z_{II} - 0,8)^2, & \text{если } 0,45 \leq Z_{II} < 0,8; \\ 0,8, & \text{если } Z_{II} \geq 0,8. \end{cases}$$

Функции $f_{II}(C_i / C_{III})$ и $f_{II}^*(t_i)$ для определения базовой модели (4) определяются выражениями

$$f_{II}(C_1 / C_{III}) = \begin{cases} 0,056 X_1^2, & \text{если } X_1 \leq 3; \\ 1 - 0,056(X_1 - 6)^2, & \text{если } 3 \leq X_1 < 6; \\ 1, & \text{если } X_1 \geq 6; \end{cases}$$

$$f_1^*(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } t < 2; \\ 0,00255(t - 2)^2, & \text{если } 2 \leq t < 16; \\ 1 - 0,00255(t - 30)^2, & \text{если } 16 \leq X_1 < 30; \\ 1, & \text{если } t \geq 30, \end{cases}$$

где $X_1 = C_1 / C_{III}$.

Составляющая EFR_{II}^n модели (10) определяется выражением:

$$EFR_{II}^n(p + 1) = EFR_{II}^n(p) + \mu_{II}^n(X_{p+1})[1 - EFR_{II}^n], \quad (12)$$

где $\mu_{II}^n(X_{p+1})$ – функция принадлежности по данным опросов, осмотров и инструментальных исследований. Опрос и осмотр производятся посредством опросников, приведенных в работах [3], [4]. В качестве инструментальных методов исследования используются: отношение желаемого объема легких к должному; уровни длительного психоэмоционального напряжения и утомления; уровень адаптационного потенциала; показатель насыщения крови кислородом. Методы получения этого набора показателей с соответствующими вариантами функций принадлежности приведены в работах [2]–[5].

Финальная уверенность в прогнозе появления и развития пневмокониоза UF_{II}^n определяется выражением (10).

В ходе математического моделирования и экспертного оценивания было показано, что прогностическая уверенность модели (10) превышает величину 0,85 при делении на 2 класса: обследуемый заболел/не заболел пневмокониозом.

Для определения ранней стадии заболевания модель (10) конкретизируется выражением

$$UF_{II}^p(q + 1) = UF_{II}^p(q) + D_{II}^p(q + 1)[1 - UF_{II}^p(q)], \quad (13)$$

где $UF_{II}^p(1) = D_{II}^p(1) = \mu_{II}^p(ER_p)$; $D_{II}^p(2) = \mu_{II}^p(UF_{II}^n)$; $D_{II}^p(3) = \mu_{II}^p(U_{01}^n)$.

Функция принадлежности $\mu_{II}^p(ER_p)$ определяется по величине энергетического разбаланса меридиана легкого по методике, описанной в работах [4], [8].

Функция принадлежности $\mu_{II}^p(UF_{II}^n)$ определяется по базовой переменной, вычисляемой по формуле (10).

Функция принадлежности $\mu_{II}^p(U_{01}^n)$ определяется по данным опросника, характеризующего наличие ранних стадий пневмокониоза (ежедневный кашель, длительность кашля, одышка, жалобы на боли в груди, наличие мокроты).

Результаты математического моделирования и экспертного оценивания показали, что математическая модель (13) обеспечивает уверенность в определении ранней стадии пневмокониоза не хуже 0,9 при условии, что стаж работы в условиях гальванического цеха не ниже двух лет при пороге деаэфикации на уровне 0,6.

Аналогичные результаты были получены для бронхиальной астмы у рабочих гальванических цехов, а также по задачам прогнозирования и ранней диагностики заболеваний нервной системы, сердечно-сосудистой системы и системы дыхания, возника-

ющих и развивающихся под воздействием сельскохозяйственных ядохимикатов у работников агропромышленного комплекса [3].

Полученные в работе частные и финальные решающие правила составляют основу экспертной системы, реализующей функции системы поддержки принятия решений (СППР) для врачей, ведущих пациентов, подвергающихся вредному воздействию промышленных и сельскохозяйственных ядохимикатов.

Список литературы:

1. Р 2.1.10. 1920-04 Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду.
2. Корневский Н.А., Григоров И.Ю., Говорухина Т.Н., Крупчатников Р.А. Метод синтеза нечетких моделей и ранней диагностики профессиональных заболеваний работников гальванических производств // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2019. Т. 18. № 3. С. 163-169.
3. Степанов Р.В. Метод, модели и алгоритм прогнозирования и ранней диагностики профессиональных заболеваний работников агропромышленного комплекса, контактирующих с ядохимикатами, на основе гибридных нечетких технологий / Дис. канд. тех. наук. – Курск, 2018. 144 с.
4. Григоров И.Ю. Методы и средства прогнозирования и ранней диагностики профессиональных заболеваний работников гальванических производств основе нечетких моделей принятия решений / Дис. канд. техн. наук. – Курск, 2020. 147 с.
5. Корневский Н.А., Родионова С.Н., Хрипина И.И. Методология синтеза гибридных нечетких решающих правил для медицинских интеллектуальных систем поддержки принятия решений / Монография. – Старый Оскол: ТНТ, 2019. 472 с.
6. Корневский Н.А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. 2015. № 1. С. 33-35.
7. Корневский Н.А., Артеменко М.В., Проворотов В.Я., Новикова Л.А. Метод синтеза нечетких решающих правил на основе моделей системных взаимосвязей для решения задач прогнозирования и диагностики заболеваний // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2014. Т. 13. № 4. С. 881-886.
8. Корневский Н.А., Крупчатников Р.А., Аль-Касасбех Р.Т. Теоретические основы биофизики акупунктуры с приложениями в медицине, психологии и экологии на основе нечетких сетевых моделей. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. 528 с.

Сергей Алексеевич Филист,

д-р техн. наук, профессор,

кафедра биомедицинской инженерии,

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»,

Руслан Игоревич Сафронов,

канд. техн. наук, доцент,

кафедра электротехники и электроэнергетики,

ФГБОУ ВО «Курская государственная

сельскохозяйственная академия им. И.И. Иванова»,

Леонид Васильевич Шульга,

д-р мед. наук, профессор,

кафедра охраны труда и окружающей среды,

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»,

Геннадий Вячеславович Сипильев,

д-р мед. наук, профессор,

кафедра урологии,

ФГБОУ ВО «Курский государственный медицинский университет»,

Евгения Владимировна Крикунова,

аспирант,

кафедра биомедицинской инженерии,

Наталья Анатольевна Милостная,

канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник,

кафедра вычислительной техники,

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»,

г. Курск, e-mail: SFilist@gmail.ru